

УДК 624.073

О.О.ДОВЖЕНКО, Л.В.КАРАБАШ, кандидати техн. наук,  
Є.К.ШРАМКО, Я.О.КАРПЕНКО

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ КОНТАКТНОГО ШПА ПОНКОВОГО ШВА ЗГІДНО НОРМ І ВАРІАЦІЙНОГО МЕТОДУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОСТІ БЕТОНУ**

Виконано порівняльний аналіз результатів розрахунку міцності контактної шва за різними існуючими методиками.

Выполнен сравнительный анализ результатов расчёта прочности контактного шва по разным существующим методикам.

The comparative analysis of results of calculation of durability of contact seam is executed after different existent methods.

*Ключові слова:* контактний шов, шпонкові з'єднання, теорія пластичності.

У ході реконструкції об'єкта виникла необхідність підсилення залізобетонної балки, виготовленої із бетону класу В30, у якості поперечної арматури використовується  $2\varnothing 12 \text{ A-I}$  із кроком 250 мм. Конструкція після підсилення набула таврового поперечного перерізу (рис.1, а), бетон підсилення прийнятий класу В20; поверхня контактної шва пронизана вертикальними стержнями [1, приклад 9].

У першому варіанті конструкція, яка підсилюється, була прийнята без поздовжнього ребра, що не дозволило забезпечити необхідний опір зсуву контактної шва. В [1] прийнято рішення про необхідність його влаштування (рис.1, б).

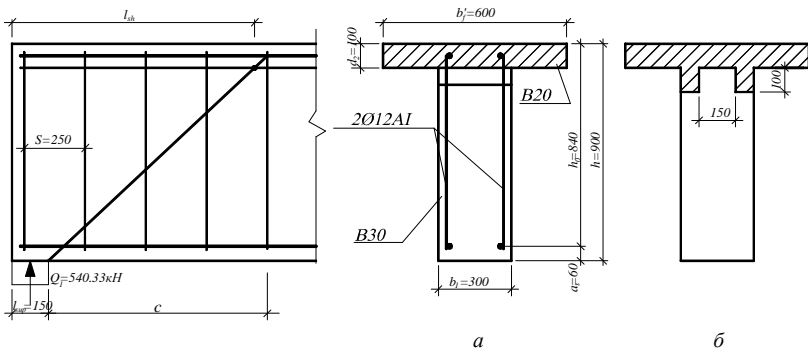


Рис.1 – Переріз конструкції після підсилення:  
а – без поздовжнього ребра; б – з ребром.

Однак, загальновідомо, що найкраще зусилля зсуву сприймають шпонкові з'єднання. Параметри такого шва згідно з рис.2 наступні: висота шпонки  $h_k=250$  мм, довжина  $l_k=70$  мм ( $l_k / h_k=0,28$  і відповідає максимальній міцності шпонки), ширина  $b_k=300$  мм; відстань від торця елемента до кінця похилого перерізу біля стиснутої грані  $l_0 = l_{\text{sup}} + c = 150 + 1680 = 1830$  мм; відстань від кінця похилого перерізу біля стиснутої грані до кінця поверхні зсуву  $l_I = c(h_{sh} / h_0) = 1680(170/840) = 340$  мм; довжина поверхні зсуву  $l_{sh} = l_0 - l_I = 1830 - 340 = 1490$  мм; опорна реакція  $Q_1 = 540,33$  кН; напруження обтиснення шва  $\sigma_n = \frac{Q_1}{l_{sh} b_k} = \frac{40330}{1490 \cdot 300} = 1,21$  МПа.

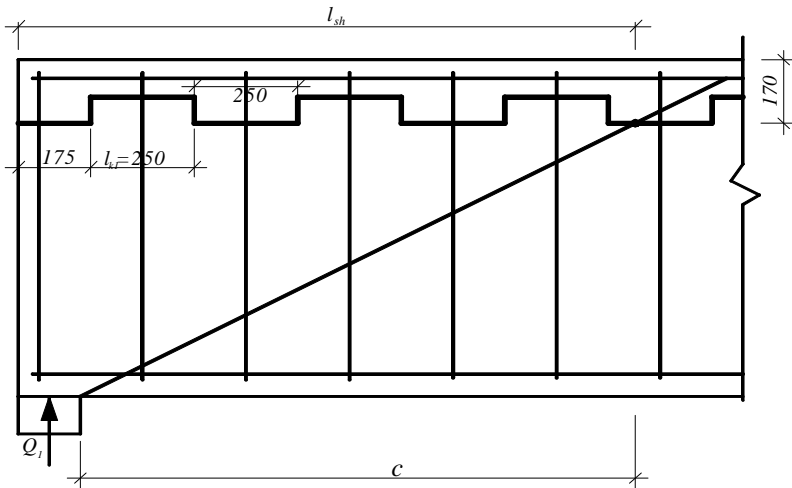


Рис. 2 – Геометричні характеристики шпонкового стику

Перевірка міцності контактного шпонкового шва згідно з [2] здійснюється за умовою

$$Q_{sh} \leq Q_{sh,u} , \quad (1)$$

де  $Q_{sh} = 897,0$  кН – зусилля зсуву, яке діє в шві від зовнішнього навантаження (отримане за результатами статичного розрахунку);  $Q_{sh,u}$  – граничне зусилля зсуву, що сприймає контактний шов.

Для залізобетонних шпонок розрахунковий опір зсуву визначається за формулою:

$$R_{sh} = \gamma_{n1} R_{sh,k} + \gamma_{n2} R_{sh,s}, \quad (2)$$

де  $R_{sh,k}$ ,  $R_{sh,s}$  – опір зсуву за рахунок роботи шпонок і поперечної арматури, котра перетинає шов, відповідно.

Значення коефіцієнтів  $\gamma_{n1}$  та  $\gamma_{n2}$  приймаються залежно від виконання умови  $R_{sh,n} \geq R_{sh,s}$ : якщо вона виконується  $\gamma_{n1}=1$ ,  $\gamma_{n2}=0,5$ ; якщо ні –  $\gamma_{n1}=0,5$ ,  $\gamma_{n2}=1$ .

$R_{sh,k}$  приймається меншим із визначених за (3) значень:

$$R_{sh,k}^1 = \frac{2R_{bf}b_k l_k n_k}{b_{sh} l_{sh}}, \quad R_{sh,k}^2 = \frac{R_b b_k h_k n_k}{b_{sh} l_{sh}}, \quad (3)$$

тут  $n_k$  – кількість шпонок, яка вводиться в розрахунок (для прямокутних шпонок не перевищує 3).

$$\text{Так як } R_{sh,k}^1 = \frac{2 \times 0,9 \times 300 \times 250 \times 3}{300 \times 1490} = 0,91 \text{ МПа, а}$$

$$R_{sh,k}^2 = \frac{11,5 \times 300 \times 70 \times 3}{300 \times 1490} = 1,62 \text{ МПа, остаточно приймаємо}$$

$$R_{sh,k} = 0,91 \text{ МПа.}$$

$R_{sh,s}$  визначається за формулою

$$R_{sh,s} = 0,65 \sqrt{R_b^2 E_s \mu_{sw}} \leq 0,7 \mu_{sw} R_{sw}, \quad (4)$$

$$\text{де } \mu_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_{sh} s} = \frac{226}{300 \times 250} = 0,003.$$

За рахунок поперечної арматури забезпечується опір

$$R_{sh,s} = 0,65 \sqrt{10,25^2 \times 2,1 \times 10^5} \times 0,003 = 0,55 \text{ МПа}$$

$$> 0,7 \mu_{sw} R_{sw} = 0,7 \times 0,003 \times 225 = 0,47 \text{ МПа. Остаточно приймаємо}$$

$$R_{sh,s} = 0,47 \text{ МПа. Так як } R_{sh,n} = 0,91 \text{ МПа} > R_{sh,s} = 0,47 \text{ МПа, то}$$

$$\gamma_{n1}=1, \quad \gamma_{n2}=0,5.$$

Розрахунковий опір контактного шва зсуву із урахуванням сумісної роботи шпонок і арматури (одночасне врахування арматури й обтиснення розрахунком не передбачено) дорівнює

$R_{sh} = 1 \times 0,91 + 0,5 \times 0,47 = 1,15$  МПа, а граничне зусилля зсуву  $Q_{sh,u} = 1,15 \times 300 \times 1490 = 514050$  Н  $= 514,05$  кН  $< Q_{sh} = 897,0$  кН не забезпечує міцності шва.

Розрахунок згідно з ДСТУ [3] проводиться за залежністю

$$V_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}, \quad (5)$$

де  $c$  і  $\mu$  – коефіцієнти, що залежать від виду поверхні (згідно з пунктом 4.6.5.2:  $c = 0,5$ ,  $\mu = 0,9$ ); розрахунковий опір бетону розтягу  $f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_{ct} = 1,0 \times 1,3 / 1,5 = 0,866$  МПа, де  $\alpha_{ct}$  – коефіцієнт, який враховує вплив на міцність тривалості дій та несприятливих впливів, викликаних способом прикладання навантаження ( $\alpha_{ct} = 1,0$ );  $f_{ctk,0.05}$  – характеристичне значення міцності бетону на осьовий розтяг 5% вибірки ( $f_{ctk,0.05} = 1,3$ );  $\gamma_{ct}$  – коефіцієнт надійності для бетону при розтязі ( $\gamma_{ct} = 1,5$ );  $\sigma_n$  – напруження обтиснення,  $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$ ;  $f_{cd}$  – розрахункове значення міцності бетону на стиск;  $\rho = A_s / A_i$  – коефіцієнт армування, де  $A_s$  – площа арматури ( $A_s = 226$  мм<sup>2</sup>);  $A_i$  – площа з'єднання;  $f_{yd}$  – розрахункове значення міцності арматури на границі текучості;  $\alpha$  – кут нахилу арматурного стержня до горизонталі;  $V$  – коефіцієнт зниження міцності.

Підраховуємо міцність однієї шпонки:

$$V_{Rdi} = 0,5 \times 0,866 + 0,9 \times 1,21 + 0,00376 \times 175 (0,9 \times 1 + 0) = 2,114 \text{ МПа} < 0,5 \times 0,552 \times 11,5 = 3,17 \text{ МПа},$$

трьох шпонок  $V_{Rdi} = 3 \times 2,114 = 6,342$  МПа.

Граничне зусилля зсуву, що сприймається швом,

$$Q_{sh,u} = 6,342 \times 250 \times 300 = 475695 \text{ Н} = 475,7 \text{ кН} < Q_{sh} = 897,0 \text{ кН}.$$

Незважаючи на те, що згідно з ДСТУ (на відміну від [2]) можна враховувати додатково позитивний вплив на роботу шва з поперечним армуванням і обтиснення, розрахунок не дозволяє забезпечити міцність шва.

В Полтавському національному технічному університеті ім. Юрія Кондратюка розроблено варіаційний метод у теорії пластичності бетону [4], який лежить в основі методики розрахунку шпонкових стиків [5]. Вхідними параметрами при розрахунках виступають міцнісні характеристики бетону  $R_b$ ,  $R_{bt}$ , геометричні параметри стику  $h_k$ ,  $b_k$ ,  $l_k$ , рівень обтиснення  $\sigma$  та параметри армування  $A_{sw}$ ,  $R_s$ .

Результати визначення міцності бетонної шпонки наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Розрахунок міцності бетонної шпонки

<b>Відомі параметри</b>							
<i>Характеристики:</i>							
<i>міцності бетону</i>					<i>шпонки</i>		
$R_b$ , МПа	$R_{bt}$ , МПа	$\chi$	$m$ , МПа	$B$	$h_k$ , мм	$b_k$ , мм	$\gamma$
11,5	0,9	0,0783	10,6	0,603355791	250	300	0,28
<b>Невідомі параметри</b>							
$R_{sh}/R_b =$						0,1771724	
$R_{sh} =$						2,0374831	МПа

Тут  $m = R_b - R_{bt}$ ,  $B = \sqrt{\left(1 + \chi / (1 - \chi)^2\right) / 3}$ ,  $\chi = R_{bt} / R_b$ ,  $\gamma = l_k / h_k$ .

$$\text{Опір шва зсуву для трьох шпонок } R_{sh,k} = \frac{2,04 \times 250 \times 3}{1490} = 1,03 \text{ МПа,}$$

граничне зусилля зсуву  $Q_{sh,u} = 1,03 \times 300 \times 1490 = 459000 \text{ Н} = 459,0 \text{ кН} < Q_{sh} = 897,0 \text{ кН}$ .

При врахуванні обтиснення  $\sigma_{bm} = 1,21 \text{ МПа}$ , міцність шпонки суттєво зростає (табл.2), доля обтиснення становить 1,49МПа.

$$R_{sh,k} = \frac{3,53 \times 250 \times 3}{1490} = 1,78 \text{ МПа,}$$

$$Q_{sh,u} = 1,78 \times 300 \times 1490 = 795660 \text{ Н} = 795,66 \text{ кН} < Q_{sh} = 897,0 \text{ кН}.$$

Таблиця 2 – Розрахунок міцності обтиснутої бетонної шпонки

<b>Відомі параметри</b>									
<i>Характеристики:</i>									
<i>міцності бетону</i>					<i>обтиснення</i>		<i>шпонки</i>		
$R_b$ , МПа	$R_{bt}$ , МПа	$\chi$	$m$ , МПа	$B$	$\sigma$ , МПа	$\sigma/R_b$	$h_k$ , мм	$b_k$ , мм	$\gamma$
11,5	0,9	0,0783	10,6	0,6034	1,21	0,11	250	300	0,28
<b>Невідомі параметри</b>									
$R_{sh}/R_b =$							0,306760677		
$R_{sh} =$							3,527747781	МПа	

При розрахунках залізобетонних шпонок маємо наступні результати (табл. 3).

Таблиця 3 – Розрахунок міцності залізобетонної шпонки

<b>Відомі параметри</b>										
<i>Характеристики:</i>										
<i>міцності бетону</i>					<i>арматури</i>			<i>шпонки</i>		
$R_b$ , МПа	$R_{bt}$ , МПа	$\chi$	$m$ , МПа	$B$	$\mu_{sw}$	$\sigma_y$ , МПа	$\gamma_l$	$h_k$ , мм	$l_k$ , мм	$\gamma$
11,5	0,9	0,0783	10,6	0,6034	0,003	175	15,217	250	70	0,28
<b>Невідомі параметри</b>										
$R_{sh}/R_b =$								0,241532296		
$R_{sh} =$								2,777621403	МПа	

Тут  $\gamma_l = \sigma_y / R_b$ .

Доля армування в міцності шпонки становить 0,74 МПа.

$$R_{sh,k} = \frac{2,78 \times 250 \times 3}{1490} = 1,40 \text{ МПа},$$

$$Q_{sh,u} = 1,40 \times 300 \times 1490 = 625800 \text{ Н} = 625,8 \text{ кН} < Q_{sh} = 897,0 \text{ кН}.$$

За рахунок обтиснення та армування (при роздільному їх врахуванні) міцність стику забезпечити не вдалося. Однак, якщо взяти до уваги обидва фактори, які впливають на міцність шпонки, то

$$R_{sh} = 2,04 + 1,49 + 0,74 = 4,27 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий опір зсуву шва

$$R_{sh,k} = \frac{4,27 \times 250 \times 3}{1490} = 2,15 \text{ МПа}.$$

Граничне зусилля зсуву

$$Q_{sh,u} = 2,15 \times 300 \times 1490 = 961050 \text{ Н} = 961,05 \text{ кН} > Q_{sh} = 897,0 \text{ кН}.$$

Таким чином, застосування варіаційного методу в теорії пластичності бетону при розрахунках контактного шва дозволило забезпечити його міцність, на відміну від [2, 3].

1. Гольшев А.Б. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / А.Б. Гольшев, И.Н. Ткаченко; под ред. А.Б. Гольшева. – К.: Логос, 2001. – 172 с.

2. Руководство по проектированию железобетонных сборно-монолитных конструкций. – М.: Стройиздат, 1977. – 89 с.

3. ДСТУ Б В.2.6. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. – К.: НДІБК, 2010. – 156 с.

4. Митрофанов В.П. Вариационный метод в теории идеальной пластичности бетона / В.П. Митрофанов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – №6. – С.23-28.

5. Карабаш Л.В. Міцність прямокутних залізобетонних шпонок з урахуванням особливостей армування і обтиснення: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Карабаш Л.В.; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2010. – 186 с.

Отримано 04.05.2012